

**PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DAN DAMPAKNYA TERHADAP
KARAKTERISTIK HIDROLOGI SUB DAS TANRALILI PROVINSI
SULAWESI SELATAN MENGGUNAKAN MODEL SWAT**

Impact of Land Use Changes on The Characteristics of Hydrology in Tanralili
Sub Watershed of South Sulawesi Province Using SWAT Model

Suryansyah Surahman

E-mail : suryansyahsurahman@yahoo.com
Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian YAPIM Maros

ABSTRACT

The management of a watershed aims to realize optimal conditions of resource vegetation, soil and water this it was give maximum benefit to human welfare and sustainable. The study was aimed to identify the impact of land use change on the hydrological characteristics of the Tanralili Sub Watershed, and develop recommendations on the best land management of Tanralili Sub Watershed. There were some steps for running SWAT model, included: (1). delineating watershed; (2). creating HRU's; (3). HRU define; (4). input climate data; (5). writing SWAT input files; (6). running SWAT model; (7). calibrating and validating data; and (8). simulating hydrological parameters to determine the best management practice. The study showed that the model has a good performance in predicting flow discharge with r^2 and NSE values in calibration process by 0.87 and 0.65 respectively. Validation process in predicting flow discharge produced r^2 and NSE values by 0.58 and 0.55 respectively. SWAT models was able to predict the effects of land use change on the hydrological characteristics in Tanralili Sub Watershed. Hydrological characteristics analysis of Tanralili Sub Wateshed in year of 2011 using SWAT indicated by water yield, surface runoff, lateral flow and base flow with the value 1 939.07 mm, 1 679.15 mm, 207.23 mm, dan 52.69 mm respectively. While the value of KRS and C was 889.73 (poor) and 0.52 (poor). Application of agrotechnology on agriculture land in accordance with the map of forests was the best management practice that can be implemented on Tanralili Sub Watershed and agrotechnology on the existing land use as best management an alternative.

Keywords: hydrology, land use, SWAT model, Tanralili sub watershed

ABSTRAK

Pengelolaan daerah Aliran Sungai (DAS) bertujuan mewujudkan kondisi yang optimal dari sumberdaya vegetasi, tanah dan air sehingga mampu memberi manfaat yang maksimal dan berkesinambungan bagi kesejahteraan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi Sub DAS Tanralili dan menyusun rekomendasi pengelolaan lahan terbaik di Sub DAS Tanralili. Adapun tahap

dalam menjalankan model SWAT yang terbagi atas beberapa tahapan yaitu: (1). deliniasi DAS; (2). membentuk HRU (3). analisis *Hidrology Respones Unit* (HRU); (4). input data iklim; (5). membangun data iklim; (6). run model; (7). kalibrasi dan validasi serta (8). simulasi parameter hidrologi untuk menentukan pengelolaan lahan yang terbaik. Studi ini menunjukkan bahwa model memiliki kinerja yang baik dalam memprediksi aliran debit dengan nilai r^2 dan NSE pada proses kalibrasi masing-masing 0.87 dan 0.65. Dalam memprediksi aliran debit pada proses validasi menghasilkan nilai r^2 dan nilai-nilai NSE masing-masing 0.58 dan 0.55. Model SWAT mampu memprediksi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi di Sub DAS Tanralili. Analisis karakteristik hidrologi Sub DAS Tanralili hasil SWAT tahun 2011 dapat ditunjukkan oleh hasil air, limpasan permukaan, aliran lateral dan aliran dasar dengan nilai masing-masing 1 939.07 mm, 1 679.15 mm, 207.23 mm, dan 52.69 mm. Sedangkan nilai KRS dan C adalah 889.73 (buruk) dan 0.52 (buruk). Penerapan agroteknologi pada lahan pertanian sesuai dengan peta fungsi kawasan hutan merupakan pengelolaan lahan terbaik yang dapat diimplementasikan di Sub DAS Tanralili dan penerapan agroteknologi pada lahan pertanian pada kondisi saat ini merupakan alternatif pengelolaan lahan terbaik.

Kata kunci: hidrologi, penggunaan lahan, model SWAT, Sub DAS Tanralili

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas-batas topografi secara alami sedemikian rupa sehingga setiap air hujan yang jatuh dalam DAS tersebut akan mengalir melalui titik tertentu (titik pengukuran di sungai) dalam DAS tersebut. Apabila ada kegiatan di suatu DAS maka kegiatan tersebut dapat mempengaruhi aliran air di bagian hilir baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Penebangan hutan secara sembarangan di bagian hulu suatu DAS dapat mengganggu distribusi aliran sungai di bagian hilir. Pada musim hujan air sungai akan terlalu banyak bahkan sering menimbulkan banjir tetapi pada musim kemarau jumlah air sungai akan sangat sedikit atau bahkan kering. Disamping itu kualitas air sungai juga menurun, karena sedimen yang terangkut

akibat meningkatnya erosi cukup banyak. Perubahan penggunaan lahan atau penerapan agroteknologi yang tidak cocok juga dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas air yang mengalir ke bagian hilir.

Pengelolaan daerah Aliran Sungai (DAS) bertujuan mewujudkan kondisi yang optimal dari sumberdaya vegetasi, tanah dan air sehingga mampu memberi manfaat yang maksimal dan berkesinambungan bagi kesejahteraan manusia. Dalam kenyataan sistem pengelolaannya memiliki permasalahan yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Permasalahan kerusakan DAS yang semakin meningkat, merupakan rangkuman kejadian-kejadian sebelumnya yang hingga saat ini belum menyentuh ke akar masalah. Permasalahan kerusakan DAS sesungguhnya sudah ada sejak lama, namun intensitas dan frekuensinya

semakin meningkat dari waktu ke waktu seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, industri, penggunaan lahan yang meningkat untuk pertanian, pemukiman, pengembangan kawasan budaya dan sebagainya. Dampaknya adalah muncul masalah-masalah lingkungan seperti banjir, kekeringan, sedimentasi, erosi, eutrikifikasi, penurunan kualitas air dan lain sebagainya.

Bappenas menyatakan di Sulawesi Selatan masih terdapat kawasan daerah aliran sungai yang keadaannya sangat kritis yaitu daerah aliran sungai (DAS) Sadang, DAS Bila-Walanae dan DAS Jeneberang. Keadaan lahan di ketiga DAS tersebut memerlukan rehabilitasi melalui kegiatan penghijauan dan reboisasi. DAS Saddang dan Bila-Walanae adalah dua DAS besar di Sulawesi Selatan yang termasuk dalam DAS-DAS prioritas satu. Kedua DAS tersebut mencakup beberapa kabupaten yang cukup kompleks permasalahannya. Akibatnya koordinasi menjadi penting dalam mengoptimalkan keberhasilan pengelolaan DAS dan mengkolaborasi pelaksanaan kegiatan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah. DAS Bila-Walanae meliputi Kabupaten Wajo, Maros, Soppeng dan Bone.

Menurut satuan pengelolaan DAS, Sub DAS Tanralili termasuk dalam wilayah DAS Maros dan secara geografis terletak antara 5°0' s/d 5° 12' LS dan 109° 34' s/d 109° 56' BT dengan luas 26 343.4 ha. Sub DAS Tanralili-DAS Maros Provinsi Sulawesi Selatan yang merupakan salah satu sumber pasokan air bersih untuk air minum bagi masyarakat

Kota Makassar bagian Timur dan Utara, juga termasuk sumber air bagi pengembangan sektor pertanian dan perikanan masyarakat di daerah pengelolaan hulu, tengah dan hilir. Masalah erosi, sedimentasi, banjir dan kekeringan merupakan masalah yang telah berlangsung sejak lama dan terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hal ini diindikasikan dengan adanya perbedaan debit maksimum dan debit minimum yang ekstrim, erosi yang menyebabkan terjadinya pendangkalan dan terhadap fasilitas publik/infrastruktur (Bendungan PDAM Lekopancing) secara luas baik kuantitas maupun kualitasnya.

Menurut BTPDAS Makassar (1997) luas hutan telah mengalami penurunan dari tahun 1990/1991 adalah 9 582 ha dan pada tahun 1994/1995 adalah 5 330, sedangkan luas lahan yang didominasi oleh jenis belukar mengalami peningkatan pada tahun yang sama dari 10 732 ha menjadi 14 673 ha dan pada tahun 2003 mengalami peningkatan hingga 20 187.35 ha (Dishut Prov.Sul-Sel). Dari pengaruh perubahan tersebut telah terjadi kesulitan air bersih disebabkan debit air Lekopancing turun hingga 80% atau dari 1 000 liter per detik (kondisi normal) menjadi 200 liter per detik.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Laode Asir (2007) menunjukkan bahwa penurunan kualitas DAS Tanralili akibat perubahan pola penggunaan selama sepuluh tahun menimbulkan berbagai kerusakan di daerah hulu sehingga menyebabkan tingginya tingkat erosi yang terjadi setiap tahunnya yaitu sebesar 74.72 ton/ha/tahun. Luas areal hutan selama sepuluh tahun

(1996-2005) telah terdegradasi seluas 5 795 ha atau mengalami kerusakan dengan laju 1.58 ha/hari.

Perubahan tersebut seiring dengan perubahan besarnya debit maksimum dan debit minimum memiliki fluktuasi yang cukup tinggi 110.31 m³/detik dan 110.41 m³/detik pada tahun 2000 atau mengalami perubahan 0.10 m³/detik, sedangkan debit minimum hanya 0.04 m³/detik pada tahun 1997 dan 2.68 m³/detik pada tahun 2000 atau mengalami perubahan peningkatan 2.64 m³/detik. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa luas kawasan lindung yang diperlukan di DAS Tanralili adalah 18 754.41 ha atau 71.19%, kawasan penyangga seluas 3 112.18 ha atau 11.81%, dan pembangunan kawasan budidaya tanaman tahunan maupun tanaman semusim seluas 4 476.91 ha atau 16.98% dari luas wilayah DAS Tanralili.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengkaji dampak perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi Sub DAS Tanralili; (2) menyusun rekomendasi pengelolaan lahan terbaik di Sub DAS Tanralili menggunakan Model SWAT.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sub DAS Tanralili (DAS Maros) Provinsi Sul-Sel dan secara geografis terletak antara 5°0' s/d 5°12' LS dan 119°34' s/d 119°56' BT dengan luas 25 627,59 ha. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2014 hingga Maret 2015.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: (1) *Global Positioning System* (GPS); (2) Alat tulis dan alat dokumentasi, dan (3) Seperangkat komputer (PC), *printer* dan *Software Mc.Office/Mc.Excel, Arc. GIS 9.3, Arc SWAT 9.0 dan SWAT CUP.*

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 1) Peta tutupan lahan skala 1:100 000 tahun 2005, 2008 dan tahun 2011 dari Badan Planologi; 2). Peta Jenis Tanah skala 1:250.000 dari Puslitanak, 3) data iklim global didapatkan dari Stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Maros dan BPDAS Pompengan yang merupakan hasil pengolahan data cuaca harian (curah hujan, suhu udara, dan kelembaban udara) selama 10 tahun yaitu tahun 2002 sampai 2011; 4) data debit air rata-rata harian selama 10 tahun (2002-2011) dari BPDAS Pompengan dan Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Sul-Sel, yang akan digunakan untuk kalibrasi dan validasi model dan (5) data sifat fisik dari hasil pengamatan lapang dan laboratorium.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahapan utama. Tahap pertama adalah pengumpulan data sekunder. Tahap kedua adalah pengambilan dan analisis contoh tanah untuk input data tanah pada model SWAT. Tahap ketiga adalah menjalankan model SWAT yang terbagi atas beberapa tahapan tersendiri yaitu: (1) deliniasi DAS; (2) analisis *Hidrology Respones Unit* (HRU); (3) input data iklim; (4)

membangun data iklim; (5) run model; (6) kalibrasi dan validasi serta (7) simulasi parameter hidrologi

Setiap analisis yang menggunakan pemodelan harus disertai dengan pengujian untuk menilai keakuratan *output* yang dikeluarkan model terhadap data hasil observasi atau pengukuran lapangan. Dalam penelitian ini, *Output* model atau *peubah proses hidrologi* yang diuji adalah debit aliran (FLOW_OUT). Periode

kalibrasi dipilih untuk menentukan tahun mana yang akan dipakai dalam proses kalibrasi dan validasi. Dalam penelitian ini digunakan tahun 2005 sebagai tahun kalibrasi dan tahun 2008 sebagai tahun validasi. Periode ini dipilih karena ketersediaan data yang baik sehingga menghasilkan nilai NSE dan r^2 yang paling baik diantara tahun lainnya. Metode statistik yang digunakan untuk menguji model adalah persamaan efisiensi model *Nash-Sutcliffe* (NS):

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \dots \dots \dots (1)$$

dimana y adalah debit aktual yang terukur (mm), $\hat{y}$ adalah *debit* hasil simulasi (mm), dan $\bar{y}$ adalah rata-rata debit terukur. Efisiensi model NS dikelompokkan menjadi 3 kelas (Tabel 3) yaitu baik, memuaskan dan kurang memuaskan.

Tabel 1 Klasifikasi nilai NS

Nilai NS	Kategori
$NS \geq 0.75$	Baik (sangat memuaskan)
$0.75 > NS > 0.36$	Memuaskan
$NS < 0.36$	Kurang memuaskan

Sumber: *Nash-Sutcliffe* (1970)

Dalam melihat keakuratan pola hasil keluaran model dengan hasil observasi lapangan digunakan koefisien deterministik atau persamaan linier:

$$r^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \dots \dots \dots (2)$$

dimana O adalah besarnya *debit pengamatan*, $\bar{O}$ adalah debit rata-rata pengamatan, P adalah debit perhitungan model dan $\bar{P}$ adalah debit rata-rata perhitungan model. Hasil perhitungan r^2 menunjukkan evaluasi kelayakan model tersebut, apabila r^2 mendekati 1 maka terdapat hubungan yang erat antara hasil prediksi model dengan hasil observasi lapangan.

Selain itu, untuk melihat keakuratan model digunakan neraca air. Neraca air adalah gambaran potensi dan pemanfaatan sumberdaya air dalam periode tertentu. Dari neraca air ini dapat diketahui potensi sumberdaya air yang masih belum dimanfaatkan dengan optimal. Secara kuantitatif, neraca air menggambarkan prinsip bahwa selama periode waktu tertentu masukan air total sama dengan keluaran air total ditambah dengan perubahan air cadangan (*change in storage*). Nilai perubahan air cadangan ini dapat bertanda positif atau negatif (Soewarno 2000). Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke, yang tersedia di, dan yang keluar dari sistem (*sub sistem*) tertentu.

Analisis dan Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Respon Hidrologi

Analisis hidrograf perubahan penggunaan lahan terhadap karakter hidrologi dihitung secara langsung dari data pengamatan berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan No.P61/Menhut-II/2014 tentang sistem informasi pengelolaan DAS, dimana nilai air limpasan tahunan riil (*direct runoff*, DRO), yaitu nilai total runoff (Q) setelah dikurangi dengan nilai aliran dasar (base flow, BF), atau dalam bentuk persamaannya: $DRO = Q - BF$. Perhitungan aliran dasar (BF) untuk nilai BF harian rata-rata bulanan = nilai Q rata-rata harian terendah saat tidak ada hujan ($P = 0$). Sedangkan untuk simulasi

perubahan penggunaan lahan yaitu dilakukan menggunakan model SWAT dengan membuat beberapa skenario sebagai berikut :

1. Penggunaan lahan sesuai dengan peta fungsi kawasan hutan
2. Penerapan agroteknologi pada lahan pertanian di luar kawasan hutan
3. Penggunaan lahan sesuai dengan peta fungsi kawasan hutan dan penerapan agroteknologi pada lahan pertanian

HASIL DAN PEMBAHASAN **Analisis Karakteristik Hidrologi Menggunakan Model SWAT** **Delineasi Sub DAS (*Watershed Delineator*)**

Delineasi Sub DAS pada model SWAT dilakukan secara otomatis melalui proses delineasi DEM. Proses delineasi tersebut menghasilkan batas DAS, batas sub DAS, dan jaringan sungai. Delineasi DAS dilakukan dengan ambang batas (*threshold*) sebesar 100 ha dengan tujuan agar mencakup seluruh jaringan sungai di Sub DAS Tanralili.

Berdasarkan proses delineasi Sub DAS Tanralili terbentuk jaringan sungai utama, batas DAS dengan total luas 25 627.59 ha, dan sub DAS sebanyak 21. Titik *outlet* pengamatan debit terletak pada Sub DAS nomor 7 yaitu di desa Puca. Data debit pengukuran dari *outlet* Lekopancing digunakan sebagai data primer dibandingkan dengan data debit simulasi dalam model SWAT. Luas masing-masing sub DAS hasil delineasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas sub DAS hasil delineasi model SWAT

Sub DAS	Luas	
	Ha	%
1	1 051.38	4.10
2	841.59	3.28
3	3 687.12	14.39
4	187.92	0.73
5	793.80	3.10
6	137.70	0.54
7	609.93	2.38
8	3 129.84	12.21
9	2 980.80	11.63
10	42.93	0.17
11	1 275.75	4.98
12	209.79	0.82
13	533.79	2.08
14	1 133.19	4.42
15	180.63	0.70
16	2 583.09	10.08
17	852.93	3.33
18	650.43	2.54
19	2 274.48	8.88
20	857.79	3.35
21	1 612.71	6.29
Jumlah	25 627.59	100.00

Analisis HRU (*Hydrologi Respon Unit*)

HRU merupakan unit analisis terkecil yang digunakan dalam perhitungan pada model SWAT. *Hydrologi Respon Unit* (HRU) terbentuk dari proses tumpang tindih antara peta/data penggunaan lahan, karakteristik tanah, dan kelas lereng.

Data masukan pada proses analisis HRU terdiri atas data spasial dan data numerik. Data spasial terdiri atas peta penggunaan lahan, peta jenis tanah, dan peta kelas lereng. Data numerik merupakan data karakteristik tanah meliputi data sifat fisik tanah. Peta penggunaan lahan yang digunakan yaitu peta penggunaan lahan Sub DAS Tanralili

tahun 2005. Peta tanah berisi sebaran jenis tanah Sub DAS Tanralili. Data numerik tanah dimasukkan kedalam *database* tanah pada mode *Edit SWAT Input*. Peta kelas lereng terbentuk secara otomatis berbasis peta DEM. Metode *Multiple Slope* dipilih untuk memperoleh 5 kelas lereng serta luasnya. Data HRU diperoleh dari tumpang tindih ke-3 data masukan tersebut.

HRU definition dilakukan dengan metode *threshold by percentage* sebesar 10%. Penentuan *threshold* bertujuan agar luas polygon kurang dari 10% akan digabungkan dengan polygon terdekat. Pengecualian dapat dilakukan dengan penggunaan lahan

yang memiliki luas kurang dari 10%. Analisis HRU menghasilkan 127 HRU yang tersebar di 21 sub DAS.

Basis Data Iklim (*Weather Generator Data*)

Basis data iklim model SWAT berdasarkan perhitungan data iklim tahun 2002 hingga 2011 yang terdiri atas data curah hujan (*rainfall data*), temperatur (*temperatur data*), kelembaban (*Relative Humidity Data*), radiasi matahari (*Solar Radiation Data*), dan kecepatan angin (*Wind Speed Data*).

Analisis Karakteristik Hidrologi

Data karakteristik hidrologi diperoleh dari proses menjalankan model SWAT. Data karakteristik hidrologi diperoleh berdasarkan data curah hujan yang dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan radiasi matahari pada kondisi penggunaan lahan tahun 2005. Data karakteristik hidrologi juga dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan topografi Sub DAS Tanralili.

Parameterisasi Model

Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi suatu model dapat berbeda antar suatu DAS karena setiap DAS memiliki karakteristik tersendiri yang bervariasi. Nilai parameter simulasi disesuaikan untuk menghasilkan keluaran yang mendekati nilai yang adaptif di lapangan. Parameter yang sensitive terhadap perubahan debit yaitu CN2, ESCO, EPCO, GW_REVAP, GWQMN dan RCHRG_DP (Santhi *et al.* 2006). Jha *et al.* (2010) mengemukakan bahwa parameter yang sensitif terhadap nilai debit adalah CN, SOL AWC,

GW_DELAY, GW_Alfa dan SURLAG. Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi pada sub DAS Tanralili yaitu bilangan kurva aliran permukaan (CN), faktor alpha aliran dasar (ALPHA_BF), lama '*delay*' air bawah tanah (GW_DELAY), ketinggian minimum aliran dasar (GWQMN), fraksi perkolasi perairan dalam (RCHRG_DP), faktor evaporasi tanah (ESCO), faktor *uptake* tanaman (EPCO), nilai Manning untuk saluran utama (CH_N2), hantaran hidrolis pada saluran utama aluvium (CH_K2), dan koefisien *lag* aliran permukaan (SURLAG). Simulasi dilakukan untuk menentukan nilai yang optimal sesuai kondisi di lapangan.

Parameter bilangan kurva aliran permukaan, faktor evaporasi tanah dan faktor *uptake* tanaman digunakan dalam kalibrasi model karena mempunyai pengaruh terhadap jumlah aliran permukaan. Besaran nilai bilangan kurva dapat memprediksi jumlah aliran permukaan atau infiltrasi akibat curah hujan. Faktor evaporasi tanah merupakan parameter yang menentukan jumlah air dalam tanah yang akan mempengaruhi bilangan kurva aliran permukaan dan proses infiltrasi yang terjadi. Faktor *uptake* tanaman mempunyai pengaruh terhadap aliran permukaan karena kemampuan akar tanaman yang dapat menyerap air dan mempunyai pengaruh terhadap transpirasi sehingga dengan demikian memiliki dampak terhadap kelembaban tanah.

Parameter alpha aliran dasar, lama '*delay*' air bawah tanah, ketinggian minimum aliran dasar dan fraksi perkolasi perairan dalam

digunakan karena mempengaruhi aliran air bawah tanah. Selain itu parameter nilai Manning untuk saluran utama, hantaran hidrolis pada saluran utama alluvium dan koefisien *lag* aliran permukaan digunakan dalam proses kalibrasi karena mempengaruhi bentuk hidrograf.

Kalibrasi Debit Aliran

Kalibrasi merupakan proses pemilihan kombinasi parameter untuk meningkatkan koherensi antara respon hidrologi yang diamati/diukur dengan hasil simulasi. Kalibrasi model dilakukan untuk mengetahui hubungan antara debit air sungai hasil model SWAT dengan debit air sungai hasil pengukuran. Data debit air sungai hasil pengukuran yang digunakan yaitu periode 1 Juli hingga 30 November 2005. Metode kalibrasi ada tiga yaitu coba-coba (*trial and error*), otomatis dan kombinasi. Dalam metoda coba-coba, nilai parameter dicocokkan secara manual, metoda ini banyak digunakan dan direkomendasikan untuk model yang kompleks. Metoda otomatis menggunakan algoritma untuk menentukan nilai fungsi objektif dan digunakan untuk mencari kombinasi dan permutasi parameter dengan tingkat keakuratan yang optimum. Metoda kombinasi dilakukan dengan menggunakan kalibrasi otomatis untuk menentukan kisaran parameter selanjutnya dilakukan *trial and error* untuk menentukan detail kombinasi yang optimal (Indarto 2012).

Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi suatu model dapat berbeda antar suatu DAS karena setiap DAS memiliki

karakteristik tersendiri yang bervariasi. Nilai parameter simulasi disesuaikan untuk menghasilkan keluaran yang mendekati nilai yang adaptif di lapangan. Parameter yang sensitive terhadap perubahan debit yaitu CN2, ESCO, EPCO, GW_REVAP, GWQMN dan RCHRG_DP (Santhi *et al.* 2006). Jha *et al.* (2010) juga mengemukakan bahwa parameter yang sensitif terhadap nilai debit adalah CN, SOL AWC, GW_DELAY, GW_Alfa dan SURLAG. Parameter yang digunakan dalam proses kalibrasi pada Sub DAS Tanralili yaitu bilangan kurva aliran permukaan (CN), faktor alpha aliran dasar (ALPHA_BF), lama '*delay*' air bawah tanah (GW_DELAY), ketinggian minimum aliran dasar (GWQMN), fraksi perkolasi perairan dalam (RCHRG_DP), faktor evaporasi tanah (ESCO), faktor *uptake* tanaman (EPCO), nilai Manning untuk saluran utama (CH_N2), hantaran hidrolis pada saluran utama aluvium (CH_K2), dan koefisien *lag* aliran permukaan (SURLAG). Simulasi dilakukan untuk menentukan nilai yang optimal sesuai kondisi di lapangan.

Dalam mencari nilai kalibrasi yang sesuai untuk Sub DAS Tanralili, digunakan metoda kombinasi yaitu dengan menggunakan model SWATCUP (model otomatis) dan kalibrasi manual (*trial and error*). Model SWATCUP merupakan *software* yang dapat membantu pemodel untuk melakukan kalibrasi, validasi dan analisis ketidakpastiaan pada model hidrologi SWAT. Nilai awal dan nilai akhir pada proses kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 3.

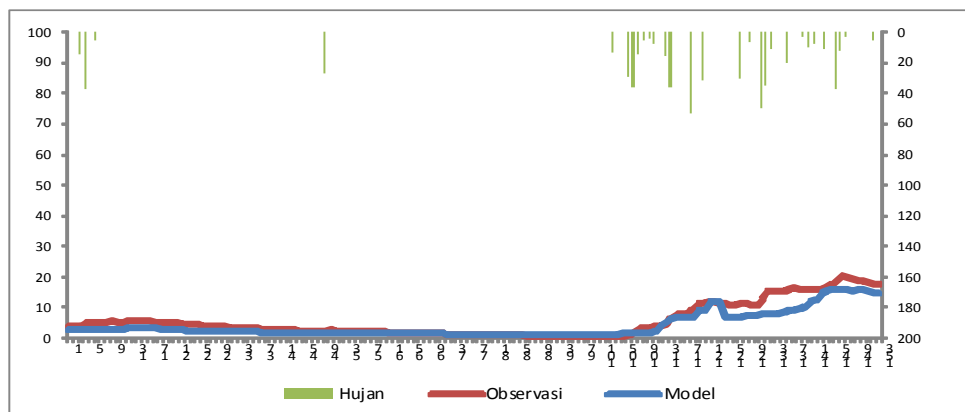
Tabel 3. Nilai parameter pada tahap kalibrasi model SWAT Sub DAS Tanralili

No	Parameter	Nilai Awal	Nilai Akhir	Kisaran
1	GW_DELAY	31	22	0 - 500
2	CN2	35 - 98	66 – 91*	35 - 98
3	ALPHA_BF	0.048	0.8	0 - 1
4	GWQMN	0	200	0 - 5000
5	CH_N2	0.014	0.05 dan 0.1**	-0.01 - 0.31
6	CH_K2	0	100	-0.01 - 5000
7	RCHRG	0.05	0.74	0-1
8	ESCO	0.75	0.55	0-1
9	EPCO	0.85	0.70	0-1
10	SURLAG	4	7	1 - 24

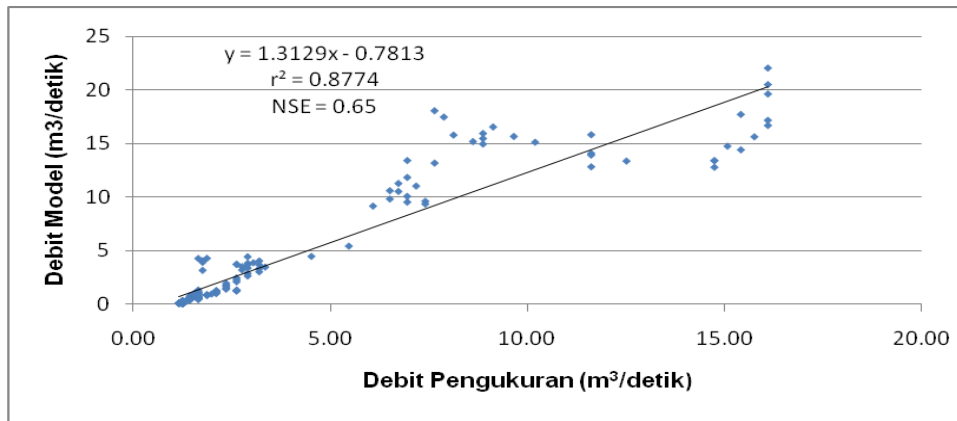
Ket: * Nilai berbeda berdasarkan penggunaan lahan

** Nilai berbeda berdasarkan Sub DAS

Berdasarkan hasil uji yang dilakukan diperoleh nilai efisiensi *Nash-Sutcliffe* (NS) dan r^2 masing-masing sebesar 0.65 (memuaskan) dan 0.87 yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hasil penelitian Yusuf (2010) di DAS Cirasea menghasilkan nilai kalibrasi NSE sebesar 0.737 dan Junaedi (2009) di DAS Cisadane menghasilkan nilai kalibrasi NSE sebesar 0.7. Nilai tersebut menunjukkan bahwa SWAT juga dapat diterapkan untuk memprediksi hidrologi DAS di Indonesia.



Gambar 1. Perbandingan debit observasi dan debit simulasi setelah kalibrasi (Juli – November 2005)

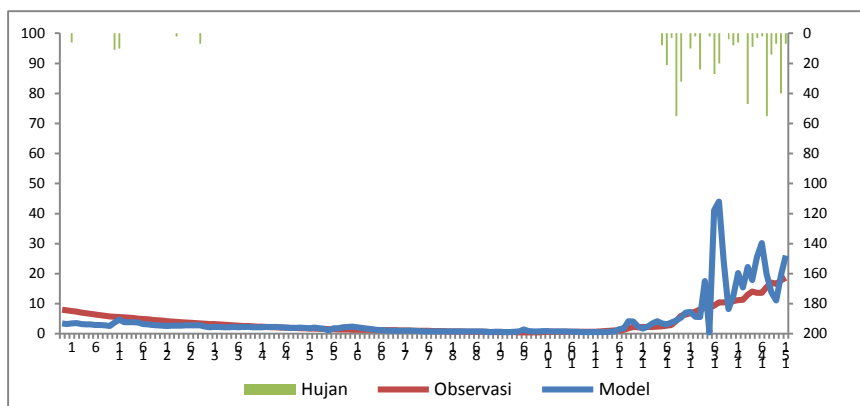


Gambar 2. Analisis regresi debit observasi dan debit simulasi setelah kalibrasi (Juli – November 2005)

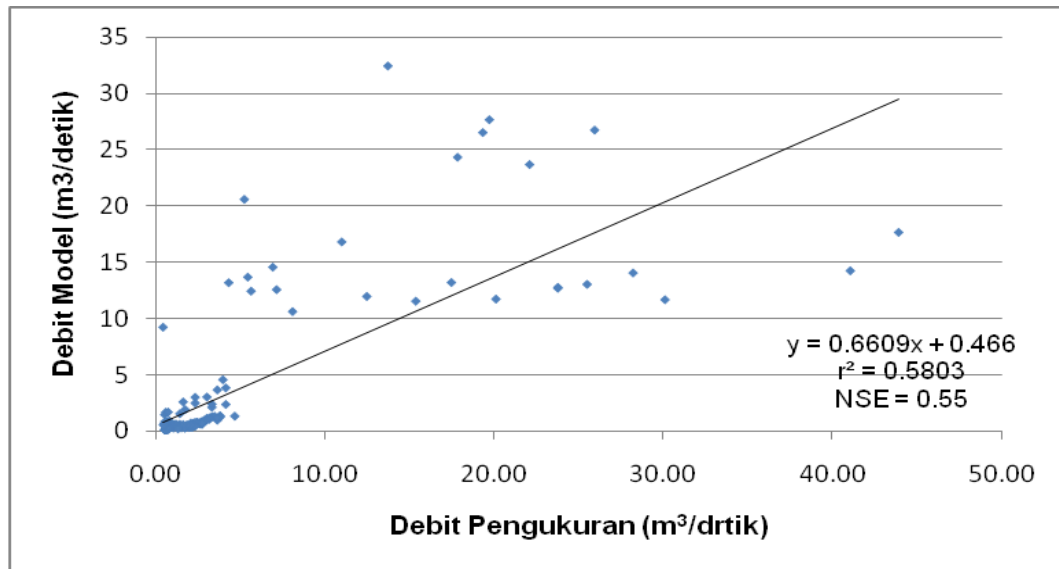
Validasi Debit Aliran

Validasi adalah proses evaluasi terhadap model untuk mendapatkan gambaran tentang tingkat ketidakpastian yang dimiliki oleh suatu model dalam memprediksi proses hidrologi. Langkah validasi bertujuan untuk membuktikan bahwa suatu proses/metode dapat memberikan hasil yang konsisten sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan data harian debit observasi bulan Juli – November 2008 dengan data harian debit simulasi yang menggunakan parameter kalibrasi.

Konsistensi model SWAT sesudah kalibrasi terlihat dari debit sungai model SWAT dengan debit sungai hasil pengukuran ditunjukkan dengan nilai *Nash-Sutcliffe* (NS) sebesar 0.55 (memuaskan) dan r^2 sebesar 0.58. Hasil validasi debit sungai tahun 2008 disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Perbandingan debit observasi dan debit simulasi setelah validasi (Juli – November 2008)



Gambar 4. Analisis regresi debit observasi dan debit simulasi setelah validasi (Juli – November 2008)

Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Aspek Hidrologi

Identifikasi perubahan penggunaan lahan pada suatu DAS merupakan suatu proses mengidentifikasi perbedaan keberadaan suatu objek atau fenomena yang diamati pada waktu yang berbeda di DAS tersebut. Identifikasi perubahan penggunaan lahan memerlukan suatu data spasial temporal (Suarna *et al.*, 2008).

Penggunaan lahan secara umum dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu faktor alami seperti iklim, topografi, tanah atau bencana alam dan faktor manusia berupa aktivitas manusia pada sebidang lahan. Faktor manusia dirasakan berpengaruh lebih dominan dibandingkan dengan faktor alam karena sebagian besar perubahan penggunaan lahan disebabkan oleh aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhannya pada sebidang lahan

yang spesifik (Vink *dalam* Sudadi *et al.*, 1991).

Berdasarkan peta penggunaan lahan tahun 2005, 2008, dan 2011 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Planologi Kementerian Kehutanan, menunjukkan adanya perubahan penggunaan lahan Sub DAS Tanralili. Perubahan tersebut terjadi pada seluruh penggunaan lahan di Sub DAS Tanralili sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Periode 2005 sampai 2008 terjadi peningkatan hutan, semak/belukar dan sawah masing-masing sebesar 1 226.53 ha, 6 360.43 ha dan 1 161.38 ha. Penurunan terjadi pada badan air, pertanian lahan kering campuran, dan padang rumput masing-masing sebesar 19.74 ha, 8 150.20 ha dan 104.46 ha. Peningkatan terbesar terjadi pada penggunaan lahan semak/belukar sebesar 24.82% dan penurunan terbesar terjadi pada penggunaan

lahan pertanian lahan kering campuran sebesar 31.80%.

Periode 2008 sampai 2011 terjadi peningkatan pertanian lahan kering campuran, badan air masing-masing sebesar 7 852.45 ha, dan 19.74 ha. Penurunan terjadi pada hutan, semak/belukar dan sawah masing-masing 597.14 ha, 6 422.11 ha dan 852.94 ha. Periode 2005 sampai 2011, terjadi peningkatan hutan seluas 629.22 ha. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan hutan di Sub DAS Tanralili sangat penting dalam pengaturan dan pengendalian tata air yang meliputi kuantitas, kualitas dan waktu penyediaan air.

Alih guna lahan pada wilayah DAS akan mempengaruhi kondisi

hidrologi DAS seperti meningkatnya debit puncak, koefisien aliran permukaan, volume aliran permukaan (Hartanto, 2009; Lipu, (2010); Emilda, 2010). Perubahan penggunaan lahan Sub DAS Tanralili pada tahun 2005, 2008, dan 2011 berpengaruh terhadap total air sungai (WATER YLD) masing-masing sebesar 255.76 mm, 215.33 mm, dan 309.91 mm (Tabel 5). Kinerja Sub DAS Tanralili berdasarkan nilai KRS pada tahun 2005, 2008, dan 2011 masing-masing sebesar 52.60, 40.81 dan 393.06 (Tabel 6). Semakin besar nilai KRS, kinerja DAS semakin buruk.

Tabel 4. Luas perubahan penggunaan lahan Sub DAS Tanralili tahun 2005, 2008, dan 2011

Penggunaan Lahan	2005	2008	2011	2005-2008		2008-2011		2005-2011	
	Luas	Luas	Luas	Luas		Luas		Luas	
	Ha	Ha	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Badan Air	21.39	1.65	21.39	-19.74	-0.08	19.74	0.08	0.00	0.00
Hutan	6 139.17	7 365.53	6 768.39	1 226.35	4.79	-597.14	-2.33	629.22	2.46
Pert.Lhn									
Kering Cmpr	17 114.67	8 964.47	16 816.92	-8 150.20	-31.80	7 852.45	30.64	-297.75	-1.16
Padang									
Rumput	224.54	120.09	120.09	-104.46	-0.41	0.00	0.00	-104.46	-0.41
Semak/									
Belukar	801.12	7 161.55	739.43	6 360.43	24.82	-6 422.11	-25.06	-61.69	-0.24
Sawah	1 326.70	2 014.31	1 161.38	687.61	2.68	-852.94	-3.33	-165.32	-0.65
Luas Total	25 627.59	25 627.59	25 627.59						

Tabel 5. Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi Sub DAS Tanralili hasil analisis SWAT tahun 2005, 2008, dan 2011

Penggunaan Lahan Tahun	Curah Hujan (mm)	Total Aliran	BF ⁽¹⁾	DRO ⁽²⁾	C ⁽³⁾
2005	2 566	496.42	18.48	268.82	0.19
2008	3 686	1 485.37	40.71	965.07	0.40
2011	3 252	900.99	9.46	778.16	0.28
Ket : ¹⁾ Base Flow ²⁾ Direct Runoff ³⁾ Coefisien Runoff					

Penurunan penggunaan lahan periode 2005-2008 yaitu pada pertanian lahan kering campuran serta meningkatnya semak/belukar dan sawah mengakibatkan peningkatan nilai C dari 0.19 menjadi 0.40, dan nilai KRS dari 46.42 menjadi 203.52. Konversi lahan dari penggunaan yang dapat meresapkan air dengan baik ke dalam tanah menjadi penggunaan yang menyebabkan hilangnya kemampuan tanah dalam meresapkan air mengakibatkan terjadinya peningkatan jumlah curah hujan yang menjadi aliran permukaan. Terdapat perbedaan antara nilai KRS dengan nilai C pada Sub DAS Tanralili, dimana nilai KRS menunjukkan nilai yang besar sedangkan nilai C menunjukkan nilai yang sangat kecil. Nilai C sangat kecil disebabkan karena jenis tanah di lokasi penelitian merupakan jenis tanah

yang terbentuk dari bahan induk kapur (karts). Secara umum karena karakteristik yang khas dari karts, akuifer karts menimbulkan masalah dalam hal penentuan dan penyelidikan sumberdaya air karts yang terdapat pada lorong-lorong *conduit* dan terakumulasi pada sungai-sungai bawah tanah. Selain itu, tidak mungkin kita melakukan generalisasi seperti yang dilakukan pada *akuifer* lain karena karts dapat memiliki berbagai tipe dan karakter *akuifer* yang berbeda-beda pada suatu daerah (Ford dan Williams 1992). Berdasarkan jumlah curah hujan yang jatuh di Sub DAS Tanralili tahun 2011 yaitu sebesar 3 252 mm, diperoleh koefisien Runoff untuk Sub DAS Tanralili sebesar 0,28. Hal ini menggambarkan bahwa sebesar 28% dari curah hujan yang jatuh di Sub DAS Tanralili akan menjadi aliran permukaan

Tabel 6. Pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap nilai koefisien regim sungai (KRS) Sub DAS Tanralili tahun 2005, 2008 dan 2011

Tahun	Q Max (m ³ /detik)	Q Min (m ³ /detik)	KRS (Q Max/Q Min)
2005	17.87	0.39	46.42
2008	101.76	0.50	203.52
2011	70.51	0.99	71.22

Peningkatan pertanian lahan kering pada tahun 2008-2011 berpengaruh terhadap nilai *Direct Runoff* sebesar 965.07 mm dan 778.16 mm, sedangkan penurunan hutan sebesar 597.14 ha berdampak terhadap aliran dasar sebesar 40.71 mm menjadi 9.46 mm.

Pengaruh kondisi penggunaan lahan bervegetasi dalam menurunkan aliran permukaan ditunjukkan oleh jumlah aliran permukaan tahun 2005 sebesar 268.82 mm lebih rendah dari tahun 2008 sebesar 965.07 mm. Sedangkan pengaruh penggunaan lahan bervegetasi dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi ditunjukkan oleh aliran dasar tahun 2005, 2008, dan 2011 masing-masing sebesar 18.48 mm, 40.71 mm, dan 9.46 mm.

Berdasarkan kriteria hidrologi untuk suatu kawasan yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan (2014), maka Sub DAS Tanralili termasuk dalam keadaan buruk. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa keadaan Sub DAS Tanralili telah terganggu. Oleh karena itu, perlu dilakukan penanganan yang serius terhadap Sub DAS Tanralili sehingga Sub DAS Tanralili dapat digolongkan dalam kategori DAS yang baik.

Skenario Pengelolaan Penggunaan Lahan menggunakan Model SWAT

Perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbuka mengakibatkan peningkatan aliran permukaan. Penggunaan lahan terbaik diharapkan dapat menurunkan aliran permukaan dan meningkatkan kapasitas infiltrasi.

Analisis karakteristik hidrologi berupa total air sungai masing-masing skenario ditunjukkan oleh Tabel 7. Total air sungai Sub DAS Tanralili tertinggi sampai terendah secara berurutan terjadi pada skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 masing-masing sebesar 1 923.03 mm, 1 906.08 mm, dan 1 892.15 mm.

Fluktuasi debit sungai memberikan gambaran kondisi penggunaan lahan yang ditunjukkan oleh nilai KRS. Penggunaan lahan terbaik dapat menurunkan aliran permukaan dan menaikkan kapasitas infiltrasi, sehingga tidak terjadi kelebihan air pada musim hujan dan kekurangan air pada musim kemarau. Pengaruh tumbuhan terhadap pengurangan laju aliran permukaan lebih besar dari pengaruhnya terhadap pengurangan jumlah aliran permukaan (Arsyad, 2006). Nilai KRS skenario 3 merupakan terendah dibandingkan skenario lainnya. Debit

tertinggi (Q_{max}) pada skenario 3 sebesar 183.00 m³/detik, sedangkan debit terendah (Q_{min}) sebesar 0.23 m³/detik sehingga diperoleh nilai KRS sebesar 795.65. Nilai KRS masing-masing skenario disajikan pada Tabel 8.

Tabel 7 menunjukkan aliran permukaan pada skenario 3 sebesar 1 571.38 mm merupakan yang terendah, sedangkan kapasitas infiltrasi ditunjukkan oleh aliran lateral dan aliran dasar masing-masing sebesar 254.06 mm dan 66.72 mm. Kondisi ini disebabkan oleh penerapan agroeknologi dan peningkatan luas hutan. Penerapan agroeknologi berupa teras bangku dan tanaman strip mampu menahan air hujan lebih lama di permukaan, sehingga memberikan kesempatan air masuk ke dalam tanah. Peningkatan luas hutan berdampak

terhadap peningkatan lahan tertutup vegetasi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Yusuf (2010) bahwa penerapan agroeknologi pada penggunaan lahan kondisi saat ini (*existing*) di DAS Cirasea mampu menurunkan aliran permukaan sebesar 9.47% dan meningkatkan aliran lateral, aliran dasar, dan *storage* masing-masing 8.29%, 4.95%, dan 2.35% dari kondisi saat ini (*existing*).

Skenario ke tiga yaitu peningkatan luas hutan dengan menerapkan agroeknologi menjadi alternatif terbaik untuk diterapkan di lapang. Penerapan agroeknologi berpengaruh terhadap karakteristik hidrologi yaitu penurunan aliran permukaan dan peningkatan kapasitas infiltrasi serta cadangan air tanah (*groundwater storage*).

Tabel 7. Nilai koefisien regim sungai (KRS) Sub DAS Tanralili tahun 2011 pada masing-masing skenario

Skenario	Q Max (m ³ /detik)	Q Min (m ³ /detik)	KRS (Q Max/Q Min)
Kondisi saat ini (<i>existing</i>)	200.10	0.22	889.73
Skenario1 (Fungsi kawasan hutan)	185.00	0.23	804.35
Skenario2 (Agroteknologi)	201.00	0.20	1 005.00
Skenario3 (Fungsi kawasan hutan + agroeknologi)	183.00	0.23	795.65

Tabel 8. Karakteristik hidrologi Sub DAS Tanralili tahun 2011 pada masing-masing skenario

Skenario	Curah Hujan (mm)	Aliran Permukaan (SUR_Q)	Aliran Lateral (LAT_Q)	Aliran Dasar (GW_Q)	Water Yield (WYLD)	C
Kondisi saat ini (<i>existing</i>)	3 252	1 679.15	207.23	52.69	1 939.07	0.52
Skenario1 (Fungsi kawasan hutan)	3 252	1 617.21	249.09	56.74	1 923.03	0.50
Skenario2 (Agroteknologi)	3 252	1 650.85	192.12	63.11	1 906.08	0.51
Skenario3 (Fungsi kawasan hutan + agroeknologi)	3 252	1 571.38	254.06	66.72	1 892.15	0.48

Berdasarkan alasan yang telah dikemukakan tersebut, maka skenario yang dapat diterapkan di lapangan adalah skenario ke tiga. Skenario ke tiga yaitu peningkatan luas hutan dengan menerapkan agroteknologi menjadi alternatif terbaik untuk diterapkan di lapang, artinya ada perubahan luas penggunaan lahan menyesuaikan dengan luas fungsi kawasan hutan dan menerapkan teknik konservasi tanah dan air untuk memperbaiki tingkat infiltrasi tanah. Penerapan agroteknologi berpengaruh terhadap karakteristik hidrologi yaitu penurunan aliran permukaan dan peningkatan kapasitas infiltrasi serta cadangan air tanah (*ground water storage*). Tingkat infiltrasi tanah yang baik akan mampu menurunkan aliran permukaan sehingga lebih banyak air yang akan tersimpan sebagai aliran dasar. Adanya tanaman hutan lebih mampu meresapkan air sehingga kapasitas infiltrasi tanah meningkat yang pada akhirnya akan meningkatkan aliran dasar. Selain itu, adanya vegetasi hutan mampu melindungi tanah dari kekuatan pukulan butir hujan sehingga tidak terjadi kerusakan tanah yang dapat memperburuk aliran permukaan. Sedangkan penerapan agroteknologi akan menahan air hujan lebih lama di permukaan sehingga memberikan kesempatan untuk masuk ke dalam tanah. Hal lain yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan bahan organik tanah, mengingat di lokasi penelitian sifat tanah tidak dapat membantu dalam menurunkan nilai KRS. Penambahan bahan organik tanah di lahan-lahan pertanian dapat berfungsi memperbaiki sifat tanah

dan dapat mempertahankan jumlah air yang tersimpan pada lapisan tanah

SIMPULAN

Perubahan Penggunaan lahan Sub DAS Tanralili tahun 2005-2011 berpengaruh terhadap karakteristik hidrologi. Nilai C dan nilai KRS tahun 2005 dan 2011 masing-masing sebesar 0.19 (baik) dan 46.42 (baik) menjadi 0.28 (baik) dan 71.22 (sedang).

Rekomendasi penggunaan lahan terbaik di Sub DAS Tanralili berdasarkan hasil analisis model SWAT adalah pada skenario 3 yaitu penerapan agroteknologi pada lahan pertanian sesuai dengan fungsi kawasan hutan dan skenario 2 yaitu penerapan agroteknologi pada penggunaan lahan kondisi saat ini. Kedua skenario tersebut memiliki karakteristik hidrologi lebih baik dibandingkan kondisi saat ini (*existing*).

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor (ID): IPB Press.
- Asir L. 2007. Analisis Pola Penggunaan Lahan DAS Tanralili. Manado. (ID) Balai Penelitian Kehutanan Manado
- BTPDAS.1997. Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Tanralili. Makassar
- Emilda A. (2010). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Respon

- Hidrologi DAS Cisadane Hulu. [tesis].Bogor (ID) : Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Ford DC, P Williams. 1992. *Karts Gheomorfology and Hidrology*.Chapman and Hall, London
- Hartanto N. (2009). *Kajian Respon Hidrologi Akibat Perubahan Penggunaan Lahan pada DAS Separi Menggunakan Model HEC-HMS*. [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Indarto. 2012. *Hidrologi, Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta (ID) : Bumi Aksara.
- Jha MK, Schilling KE, Gassman PW, Wolter CF. 2010. *Targeting land use change for nitrate-nitrogen load reductions in an agricultural watershed*. J. of Soil and Water Conservation Nov/Dec 2010: 65 (6).
- Junaedi E. 2009. *Kajian Berbagai Alternatif Perencanaan Pengelolaan DAS Cisadane Menggunakan Model SWAT* [tesis]. Bogor (ID): Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Lipu S. (2010). *Analisis Pengaruh Konversi Hutan terhadap Larian Permukaan dan Debit Sungai Bulili, Kabupaten Sigi*. Media Litbang Sulteng
- III No. (1): 44-50, Mei 2010. ISSN : 1979 -5971.
- Nash JE. Sutcliffe JV. 1970. *River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I – Discussion of Principles*. *Journal of Hydrology*, 10 (3): 282-190
- Santhi C, Srinivasan R, Arnold JG, Williams JR. 2006. *A modelling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas*. *Environmental Modelling & Software*. 21: 1141-1157.
- Soewarno. 2000. *Hidrologi Operasional*. Bandung : Nova.
- Yusuf SM. 2010. *Kajian respon perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi pada DAS Cirasea menggunakan model MWSWAT*. [Tesis]. Bogor (ID). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.